



Aalto-yliopisto
Perustieteiden
korkeakoulu

Päätösvaihtoehtojen spatiaalinen vertailu ja sen sovellus ilmavalvonnan suunnittelussa

Tommi Anttila

14.10.2019

Ohjaaja: DI Mikko Harju

Valvoja: prof. Kai Virtanen

Työn saa tallentaa ja julkistaa Aalto-yliopiston avoimilla verkkosivuilla. Muilta osin kaikki oikeudet pidätetään.

Tausta

- Verrataan päätösvaihtoehtoja perustuen niiden vaikutuksiin annetun alueen yli
 - Kunkin vaihtoehdon vaikutus jokaiseen pisteeseen tunnetaan
 - Vaikutusten hyvyttä voidaan mitata useilla kriteereillä
- Päätöksentekijän preferenssit
 - Kuvataan erilaisten painokertoimien avulla
 - Tunnetaan vain osittain
- Esimerkkisovellus
 - Päätösvaihtoehdot tutkaryhmitä
 - Pyritään löytämään ilmavalvonnan kannalta paras ryhmitys

Tavoite

- Laskennallinen työkalu päätössuosituksen muodostamiseen
 - Rajoitukset muodostetaan päätöksentekijän preferenssien perusteella
 - Päätösvaihtoehtoja verrataan pareittain
 - Vaihtoehtojen rajaaminen eliminoimalla huonompia
- Esimerkkisovelluksessa päätössuositus kaluston sijoittamisesta

Käsitteet

- Tarkastelualue $S = \{s_1, \dots, s_n\}$ koostuu sijainneista
- Päätösvaihtoehdot Z ovat funktioita, jotka määräävät seurauksen C jokaiselle sijainnille
 - $z(s)$ on vaihtoehdon z seuraus pisteessä s
 - Voidaan tarkastella useiden attribuuttien suhteen, $z_j(s)$
 - Esimerkkisovelluksessa päätökset tutkaryhmyksiä, joiden seuraukset ovat kyky havaita ja seurata lentäviä kohteita
- Oletetaan, että päätöksentekijän preferenssit voidaan kuvata arvofunktion $V(z)$ avulla
 - $V(z^1) \geq V(z^2)$, kun päätöksentekijä suosii z^1
 - Voidaan tarkastella attribuuttikohtaisesti, $v_j(z_j)$

Arvofunktio

$$V(z) = \sum_{j=1}^m b_j \sum_{i=1}^n a_{ij} v_j(z_j(s_i))$$

- m attribuuttien määrä, n sijaintien määrä, b_j attribuuttien painot, a_{ij} sijaintien painot
 - Painoja a_{ij} ja b_j ei tunneta
- $z_j(s_i)$ kuvastaa seurausta pisteessä s_i attribuutin j suhteen
- v_j attribuuttikohtainen arvofunktio
- Vaihtoehtojen seuraukset ja arvofunktiot tunnetaan

Preferenssi-informaatio

- Päätöksentekijä ei kykene ilmaisemaan painokertoimia a_{ij} ja b_j tarkasti, mutta voi kertoa preferensseistään
 - Esim. Helsinki on attribuutin j suhteen tärkeämpi kuin Tampere

$$\sum_{s_i \in S^1} a_{ij} > \sum_{s_i \in S^2} a_{ij}$$

- Preferenssi-informaatio voi yhdistää alueiden painoja
 - Esim. Tampere ja Turku ovat yhteensä tärkeämpiä kuin Helsinki
 - Enemmän preferenssi-informaatiota, tarkempaa tietoa vaihtoehtojen keskinäisestä järjestyksestä
- Informaation perusteella muodostetaan (lineaarisia) rajoitteita ja saadaan käypien painojen joukko

Dominanssi

- Vaihtoehto z^1 dominoi vaihtoehtoa z^2 , jos
$$V(z^1) \geq V(z^2), \text{ kaikilla käyvillä } a_{ij}, b_j$$
$$V(z^1) > V(z^2), \text{ jollain käyvällä } a_{ij}, b_j$$
- Tavoitteena selvittää ei-dominoidut vaihtoehdot, joita ei dominoi mikään muu vaihtoehdoista
 - Dominoidut vaihtoehdot poistetaan vertailusta, sillä niitä vastaa aidosti parempi ei-dominoitu vaihtoehto
 - Pareittain vertailu -> vaihtoehtojen määrä haastava laskennallisesti

Laskenta

- Toteutettu käyttäen MATLAB
- Verrataan vaihtoehtoja ratkaisemalla lineaarisia optimointitehtäviä

$$\begin{aligned} \min f^T x \\ \text{s.t. } Ax \leq 0 \end{aligned}$$

- Kohdefunktio kahden vaihtoehdon arvofunktion erotus, jossa on nm muuttujaa, jotka kuvastavat painoja
- Preferenssilauseet kootaan attribuuteittain riveiksi matriiseihin
 - Yhdistetään diagonaalisesti ja saadaan lopullinen A

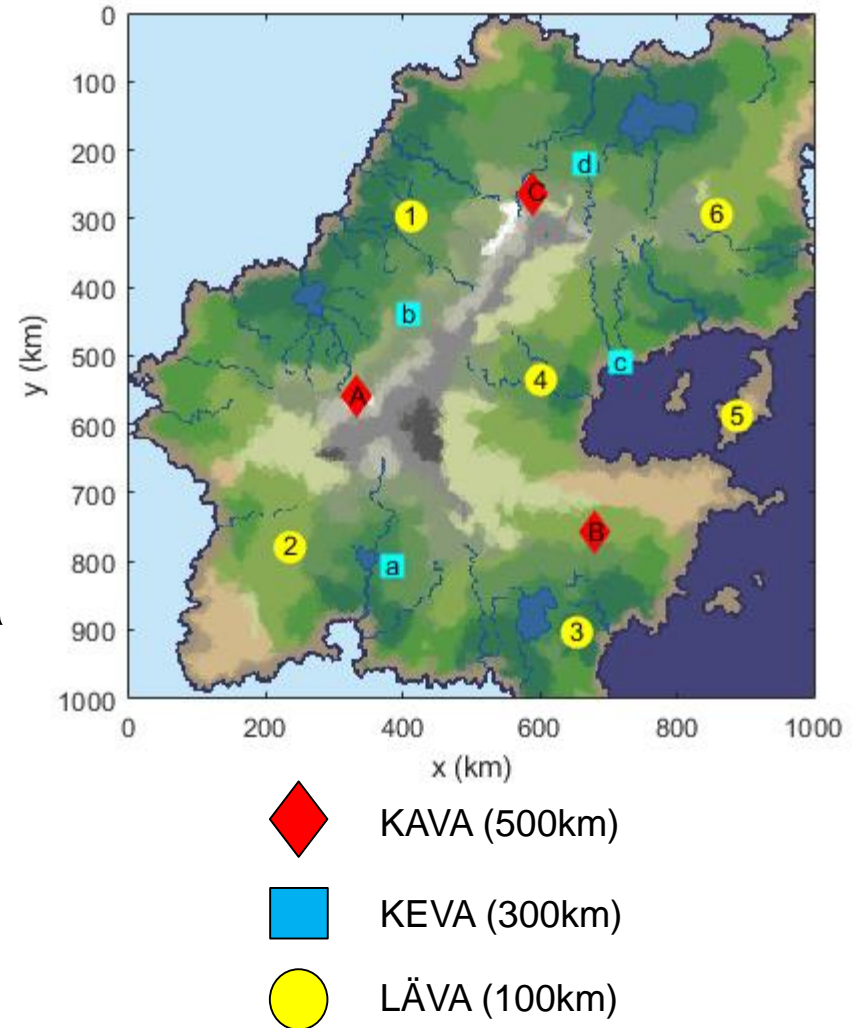
Esimerkki, lähtötilanne

- Päätöksentekijä valitsee tutkien sijainteja valmiista paikoista
- Tavoitteena paras seuranta- ja havaitsemiskyky päätöksentekijän preferenssit huomioiden

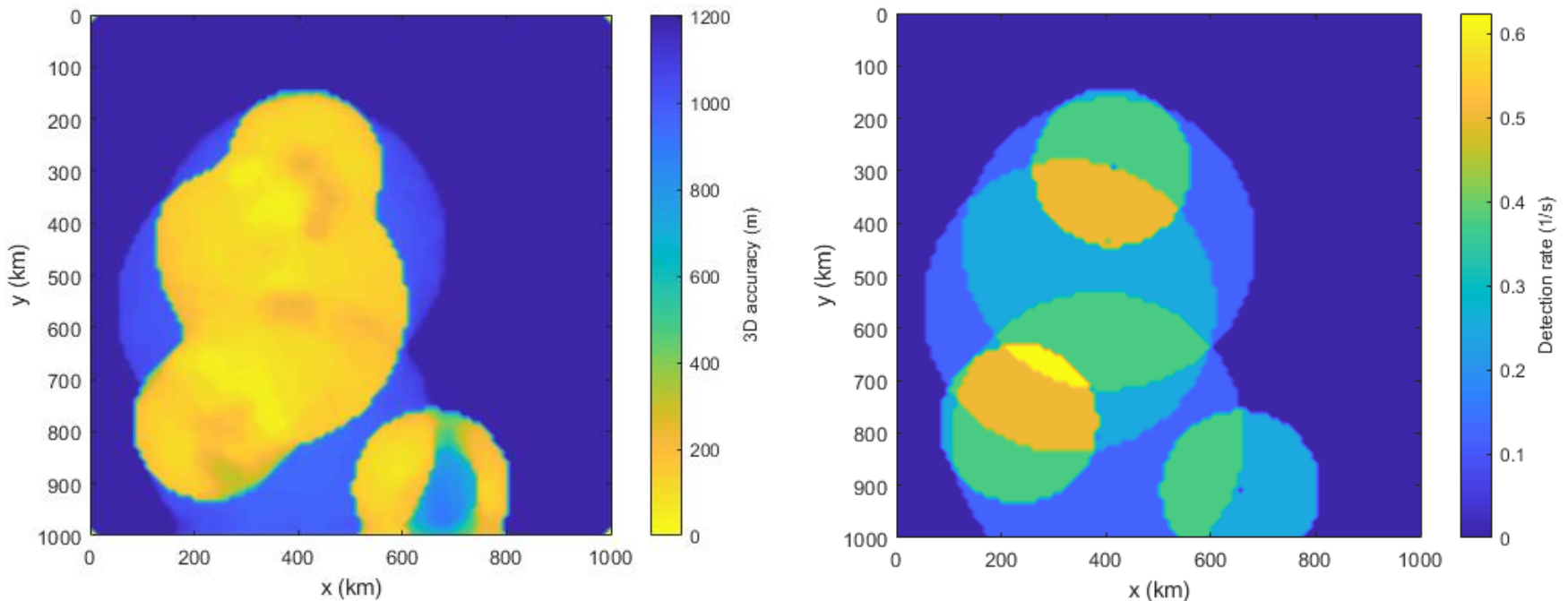
| Tutkatyyppi | Kantama (km) | Pyörähdys-aika (s) | Käytettävissä (kpl) | Sijaintivaihtoehtoja (kpl) |
|-----------------------|--------------|--------------------|---------------------|----------------------------|
| Lähivalvonta LÄVA | 100 | 4 | 3 | 6 |
| Keskivalvonta KEVA | 300 | 8 | 2 | 4 |
| Kaukovalvonta KAVA | 500 | 8 | 1 | 3 |

Esimerkki, lähtötilanne

- Päätosvaihtoehdot ovat kombinaatioita sijainneista
 - Yhteensä 360
- Kartta jaettu 10000 sijaintiin (100 x 100 ruudukko)
- Päätöksentekijän huomioitava ympäröivät valtiot ja tärkeät sijainnit



Esimerkki, päätösvaihtoehdot



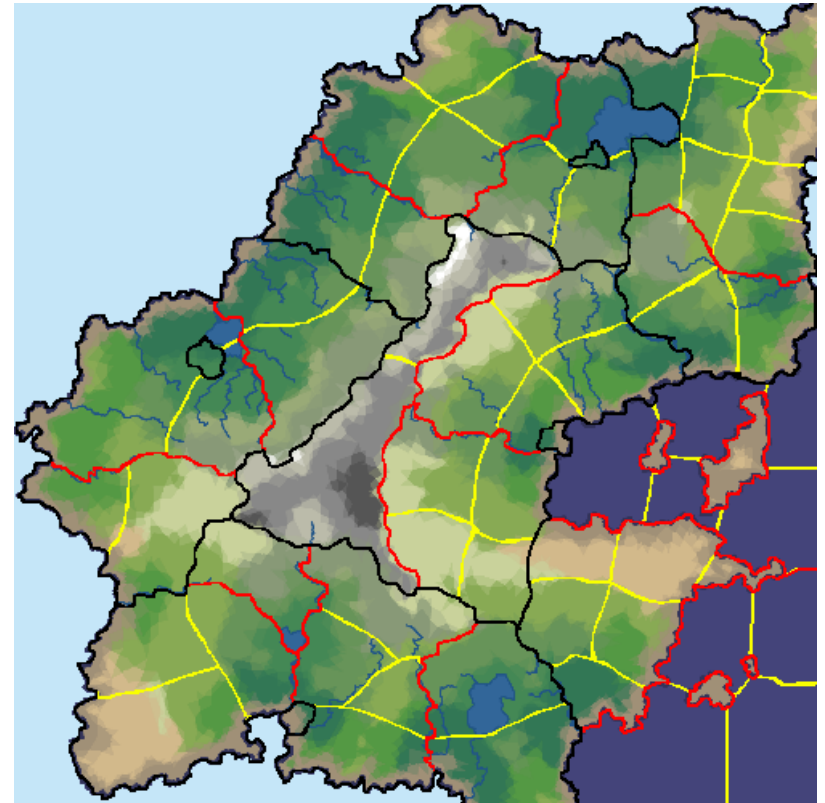
- Seuraukset skaalataan päätöksentekijän arvion mukaan
 - Tärkeää kattaa suuri alue
 - Parannukset $v(z)$ pienenevät suuremmilla arvoilla

Esimerkki, preferenssit

- Päättökentekijän preferenssit kolmessa eri aluejaossa
- Preferenssit annettu väleinä
 - ” S^1 vähintään y , korkeintaan x kertaa tärkeämpi kuin S^2 ”

$$x \sum_{s_i \in S^1} a_{ij} \geq \sum_{s_i \in S^2} a_{ij} \geq y \sum_{s_i \in S^1} a_{ij}$$

- Alueita yhteensä 70

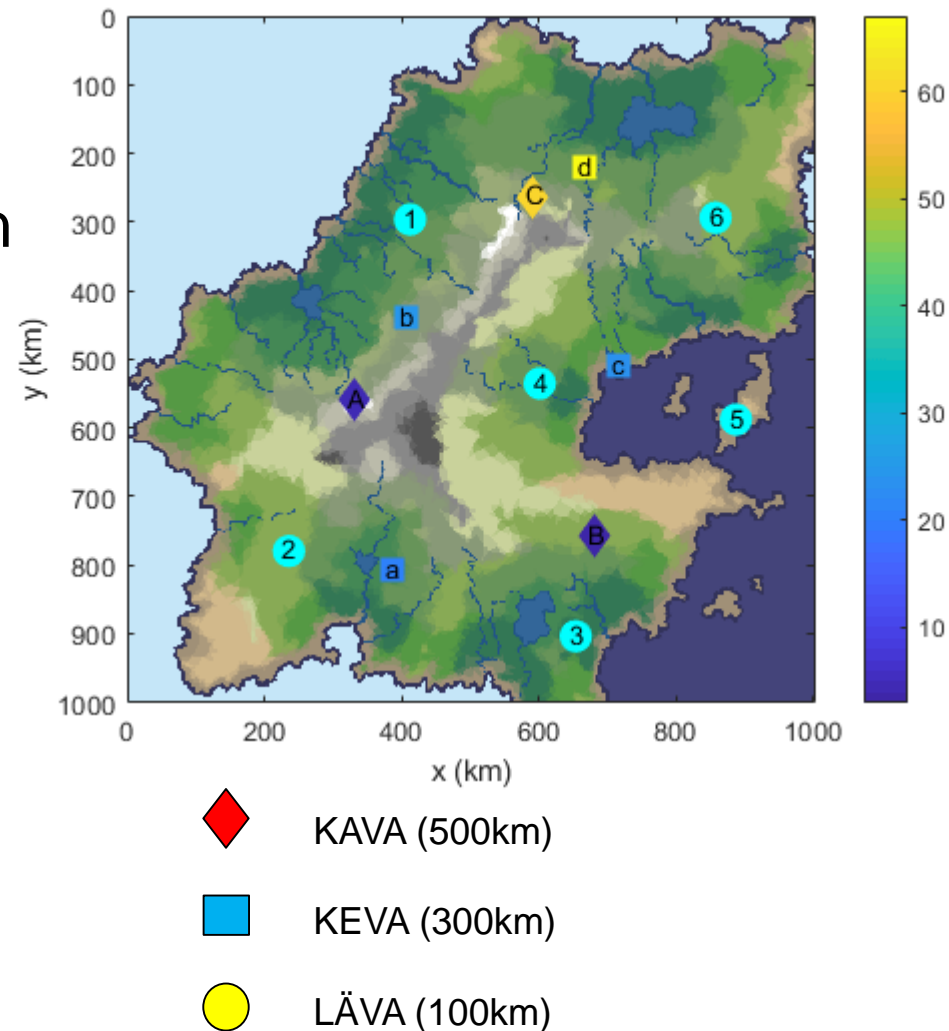


Tulokset

- 360 vaihtoehdosta saadaan 67 ei-dominoitua

| Tutka | # |
|-------|----|
| A | 4 |
| B | 3 |
| C | 60 |
| a | 20 |
| b | 24 |
| c | 24 |
| d | 67 |

| Tutka | # |
|-------|----|
| 1 | 34 |
| 2 | 32 |
| 3 | 32 |
| 4 | 33 |
| 5 | 33 |
| 6 | 37 |



Yhteenveto ja johtopäätökset

- Vaihtoehtojen määrää saatiin rajattua dominanssilla
 - Tutkasijainti d esiintyy kaikissa ei-dominoiduissa vaihtoehtoissa, joten se voidaan valita varmasti
 - Muista sijainneista ei voida sanoa varmuudella mitään
 - Ei-dominoituja suhteellisen paljon läpikäytäväksi
 - Vaihtoehtojen seurausten äkillisesti muuttuvan luonteen vuoksi erot eivät mahdollisesti tule ilmi pienemmän kantaman tutkilla
 - Tarkempi preferenssi-informaatio vähentäisi ei-dominoitujen määrää
 - Preferenssilauseet
 - Aluejako
 - Laskennallisen työkalun jatkokehitys
-

Tietolähteet

- M. Harju, J. Liesiö, K. Virtanen, Spatial multi-attribute decision analysis: Axiomatic foundations and incomplete preference information, *European Journal of Operational Research*, 2019.
- A. Salo and R.P. Hämäläinen, Preference Programming - Multicriteria Weighting Models under Incomplete Information, Zopounidis, C. and Pardalos, P.M. (eds.), *Handbook of Multicriteria Decision Analysis*, Springer, 2010.
- R.L. Keeney and H. Raiffa. *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. John Wiley and Sons, New York, 1976.
- J. Simon, C.W. Kirkwood, and L.R. Keller. Decision analysis with geographically varying outcomes: Preference models and illustrative applications. *Operations Research*, 62(1):182–194, 2013.